



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

FLORE

Repository istituzionale dell'Università degli Studi di Firenze

Energia solare e luce: valutazione del comfort termico estivo nei sottotetti

Questa è la Versione finale referata (Post print/Accepted manuscript) della seguente pubblicazione:

Original Citation:

Energia solare e luce: valutazione del comfort termico estivo nei sottotetti / G. ALCAMO. - STAMPA. - (2007), pp. 128-139.

Availability:

This version is available at: 2158/352398 since:

Publisher:

Alinea Editrice

Terms of use:

Open Access

La pubblicazione è resa disponibile sotto le norme e i termini della licenza di deposito, secondo quanto stabilito dalla Policy per l'accesso aperto dell'Università degli Studi di Firenze (<https://www.sba.unifi.it/upload/policy-oa-2016-1.pdf>)

Publisher copyright claim:

(Article begins on next page)

Energia solare e luce: valutazione del comfort termico estivo nei sottotetti

Giuseppina Albano

Introduzione

Quando il progettista cerca di capire il comportamento energetico dell'edificio, questa ricerca deve tenere conto della destinazione d'uso dell'edificio, degli apporti energetici interni ed esterni, delle caratteristiche dell'involucro edilizio, del dimensionamento e delle caratteristiche delle superfici vetrate, dell'orientamento e della localizzazione geografica e climatica.

La ricerca di cui di seguito vengono esposti la metodologia e i risultati, hanno richiesto software di simulazione in grado di tenere conto di tutte le variabili suddette, cioè anche

della valutazione della luce come energia solare.

Il caso studio è relativo ad un edificio residenziale localizzato nella fascia del Sud del Mediterraneo, a Roma.

Obiettivo della ricerca è la valutazione del comfort interno in due cucine (nelle quali il valore degli apporti passivi interni è definito in base all'uso tradizionale di un locale cucina, ad uso familiare, nella fascia climatica del sud dell'Italia) con differente distribuzione della superficie finestrata, diverse strategie di ventilazione e sistemi di oscuramento per evitare surriscaldamento durante il periodo esti-

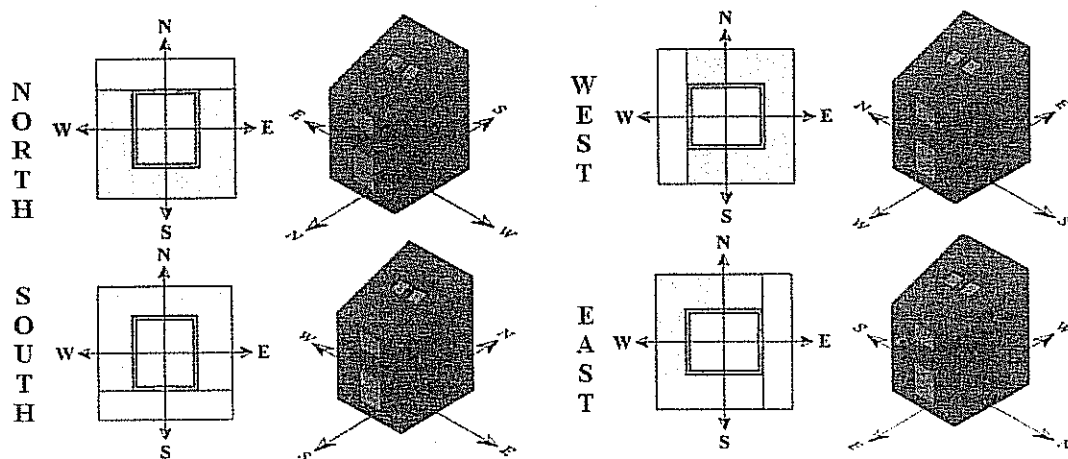


Figura 1. Il modello di simulazione con orientamento a nord, ovest, sud ed est

vo.

Quindi sono state valutate le differenze in termini di comfort termico, temperature interne, ventilazione e distribuzione solare per due strategie di controllo di apertura di finestre e relative schermature solari, nei quattro orientamenti principali e con due diverse tipologie strutturali di tetto.

Le simulazioni sono state effettuate con il software ESP-r (elaborato dalla University of Strathclyde), dal Centro Interuniversitario ABITA di Firenze⁽¹⁾, in collaborazione con la University of Strathclyde. L'attività di ricerca è stata finanziata dalla VELUX A/S.

Materiali da costruzione

In tutti i modelli le caratteristiche dell'involucro edilizio sono eguali, eccetto che per il tetto.

E' stata infatti valutata la differenza tra due tipologie strutturali di tetto con diversi spessori di isolamento termico, uno in latero-cemento, l'altro in legno. Il tetto in latero cemento è caratterizzato da un valore di densità più alta rispetto al tetto in legno.

Le pareti esterne realizzate a cassetta di spessore 30,5 cm e isolamento termico interposto dello spessore di 4 cm.

Particolare attenzione alle superfici finestrate: le due cucine hanno una superficie finestrata pari ad 1/8 della superficie del pavimento. Non sono stati considerati i telai. Le finestre hanno tapparelle esterne.

Entrambe le cucine hanno stessa superficie

finestrata ma diversamente distribuita: la stanza a piano terra ha una finestra verticale, la stanza a primo piano ha una superficie finestrata distribuita su tre finestre di cui una verticale e due sul tetto spiovente.

Le finestre sul tetto hanno un sistema di schermatura solare esterna, in alluminio; le finestre verticali hanno una schermatura esterna, avvolgibile in PVC.

Tutte le finestre hanno vetri doppi con

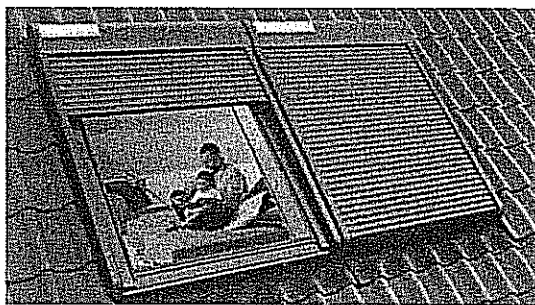


Figura 2. Finestra sul tetto

intercapedine di aria di 16mm.

Le finestre sul tetto si aprono attorno ad un perno centrale, orizzontalmente. Quando la finestra si apre, ci saranno due porzioni di superficie per la ventilazione, una in basso ed una in alto con eguale area.

L'oscurante esterno è in alluminio, con una finitura superficiale di colore nero ed è posta 5 mm sopra il vetro esterno. Nel calcolo si tiene conto che c'è sempre un'area visibile del 5% per consentire agli occupanti di muoversi nella stanza senza dovere necessariamente accendere la luce.

⁽¹⁾ Le simulazioni in ESP-r sono state condotte dall'Ing. Giuseppina Alcamo e dall'Ing. Silvia Murgia con la collaborazione del Prof. Jon Hand

Le finestre verticali hanno anch'esse vetri camera con 16 mm di intercapedine di aria. La schermatura esterna è realizzata con 4 mm di PVC ad una distanza di 5 mm dal vetro.

Nel calcolo si tiene conto che c'è sempre un'area visibile del 5% per consentire agli occupanti di muoversi nella stanza senza dovere necessariamente accendere la luce.

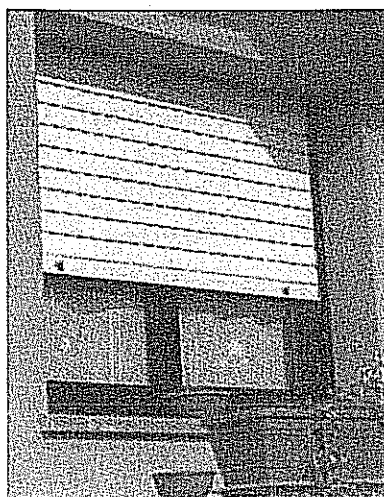


Figura 3. Immagine di una tipica finestra verticale con avvolgibile esterna

Internal gains

Il locale cucina è utilizzato per la colazione, il pranzo e la cena, quindi la presenza degli occupanti nella stanza è definita per fasce orarie così come la luce artificiale e l'utilizzo di elettrodomestici quali il frigorifero ed i fornelli. Tra i diversi ambienti della casa si è deciso di studiare il comportamento della stanza cucina dove l'incidenza degli apporti energetici e il conseguente surriscaldamento estivo sono maggiori che in altri ambienti quali per esempio le camere da letto o il bagno o il soggiorno.

Strategie di ventilazione naturale

Ventilazione ed infiltrazione sono definite tramite un "air-flow network". Il software è in grado di controllare le caratteristiche climatiche del sito, quindi controlla l'andamento delle temperature all'interno delle stanze simulate nonché la ventilazione interna e il conseguente comfort interno. Il tutto è relazionato alla percentuale di apertura delle finestre e al relativo controllo della radiazione solare esterna.

Le finestre sul tetto hanno due aperture, una in basso e l'altra in alto, di eguale area quando l'oscurante esterno è aperto.

Quando invece la shutter è chiusa al 90% e la finestra è aperta, l'apertura superiore in effetti è aperta ma non consente ventilazione quindi nella simulazione viene considerata soltanto l'area di apertura in basso.

In ciascuna cucina viene considerato che una certa ventilazione è dovuta alle infiltrazioni sotto le porte.

I modelli sono stati simulati considerando tre diverse strategie di ventilazione:

- il modello base: è un modello di controllo in cui tutte le finestre sono chiuse e schermature solari esterne, senza alcuna ventilazione naturale, ma soltanto con infiltrazioni pari a 0.5 ac/h. Viene in questo modo simulato il comportamento energetico di una stanza che non viene mai utilizzata durante il periodo estivo.
- modello in cui viene definita una strategia di ventilazione (1) che simula l'apertura delle finestre in maniera automatica senza mai il controllo degli occupanti. Durante il giorno, a meno che la temperatura interna è più bassa di quella esterna, le schermature solari e le finestre sono aperte l'11% della loro area. Durante la notte le schermature sono com-

INTERNAL GAINS							
Weekdays, Saturdays, Sundays	type	start	stop	sensible	latent	radiant fraction	convective fraction
	equipment	0	24	38.6	0	0.300	0.700
	equipment	7	9	100	0	0.500	0.500
	equipment	12	14	100	0	0.500	0.500
	equipment	19	21	100	0	0.500	0.500
	light	7	8	100	0	0.800	0.200
	light	19	21	100	0	0.800	0.200
	occupant	7	9	380	180	0.200	0.800
	occupant	12	14	380	180	0.200	0.800
	occupant	19	21	380	180	0.200	0.800

Tabella 1. Apporti di energia dovuti alla presenza di persone nella stanza (occupants), all'utilizzo di luce artificiale (light) e all'uso di elettrodomestici (equipment)

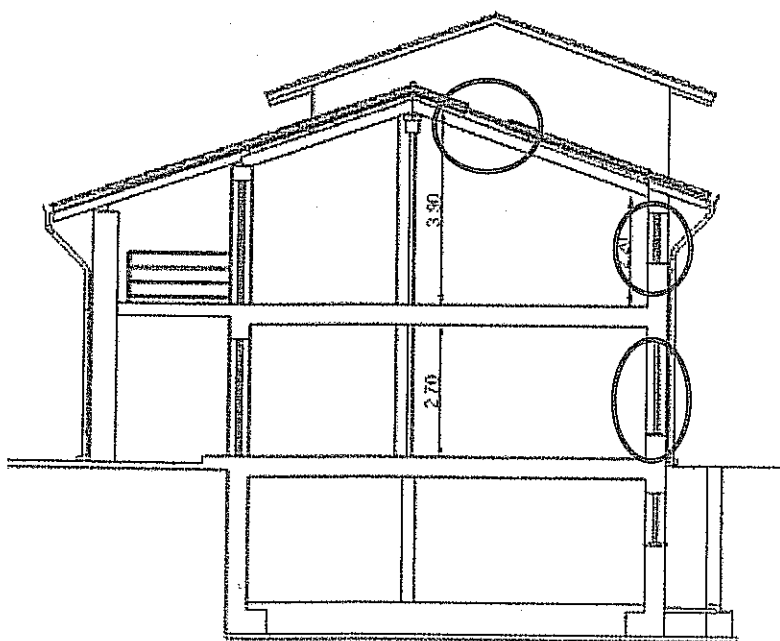


Figura 4. Sezione del caso studio: la stanza a piano terra ha una finestra verticale; la stanza sottotetto ha finestra verticale e due finestre sul tetto. La superficie vetrata totale è uguale, cambia la distribuzione delle aperture.

pletamente aperte e le finestre sono controllate da un range-base control che verrà descritto più avanti.

- modello con applicata una strategia di ventilazione (2) controllata dagli occupanti e dalla loro presenza nelle stanze durante le ore diurne. Quando ci sono gli occupanti durante il giorno, essi apriranno le finestre e le schermature dell'11% e lo faranno a prescindere dalle temperature interne ed esterne. Uscendo dalla stanza, gli occupanti lasceranno sempre le finestre chiuse.

Il controllo della ventilazione naturale notturna

Durante la notte, nei modelli con strategia di ventilazione controllata dagli occupanti e in quella automatica, sia la cucina al piano inferiore che quella al piano superiore adottano il medesimo controllo notturno delle aperture. La ventilazione avviene tramite l'apertura delle finestre che dipende dalla temperatura interna della cucina: all'aumentare della temperatura interna, aumenta la percentuale di apertura delle finestre, questo per consentire una maggiore ventilazione del locale e quindi un raffrescamento notturno più efficace.

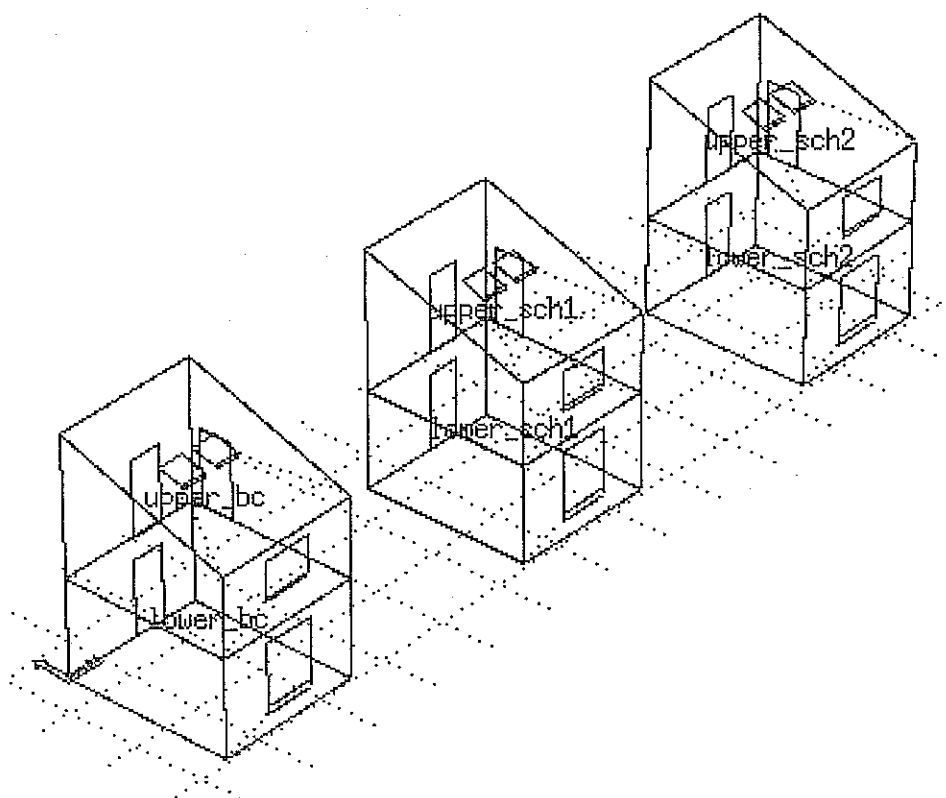


Figura 5. L'immagine è estrapolata dal software di calcolo ESP-r: tre modelli a confronto con strategie di ventilazione diverse: il caso base senza ventilazione attraverso le aperture delle finestre, la strategia di ventilazione naturale controllata automaticamente, la strategia di ventilazione naturale controllata dagli occupanti.

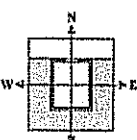


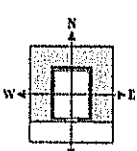


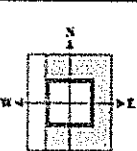


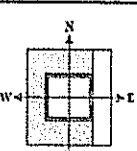


ORIENTATION		ROOF TYPOLOGY		c4 concrete roof with 4 cm of insulation	w16 wooden roof with 16 cm of insulation
				$U (W/m^2K) = 0.65$	$U (W/m^2K) = 0.25$
				hours Ventilation Strategy 2	hours Ventilation Strategy 2
NORTH		 Roof + Facade window upper	1186 (40.5%)	1167 (39.8%)	
		 Facade window upper	1075 (36.7%)	1059 (36.1%)	
SOUTH		 Roof + Facade window upper	1135 (38.7%)	1111 (37.9%)	
		 Facade window upper	867 (29.6%)	838 (28.6%)	
WEST		 Roof + Facade window upper	1138 (38.8%)	1134 (38.7%)	
		 Facade window upper	826 (28.2%)	823 (28.1%)	
EAST		 Roof + Facade window upper	1088 (37.1%)	1054 (35.9%)	
		 Facade window upper	887 (30.3%)	880 (30.0%)	
UPPER ZONES: NUMBER OF HOURS EXPRESSING PPD LOWER THAN 10%					

Tabella 2. Numero di ore che esprimono la percentuale di persone insoddisfatte (PPD) al di sotto del 10%

Modelli e risultati

Le simulazioni e quindi i risultati sono relativi alla stagione estiva. Sono stati simulati i modelli nei quattro orientamenti, con due strate

gie di ventilazione diversa, per due cucine (una posta a piano terra, l'altra posta a primo piano) per un totale di 64 simulazioni. gie di ventilazione diversa, per due cucine (una posta a piano terra, l'altra posta a primo piano) per un totale di 64 simulazioni.

Dallo studio effettuato e dai risultati emersi, si è deciso di procedere alla valutazione del comfort interno di due sottotetti, uno con finestre sul tetto, l'altro senza.

Per la valutazione del PPD si è ipotizzata una attività metabolica degli occupanti pari a 1.2

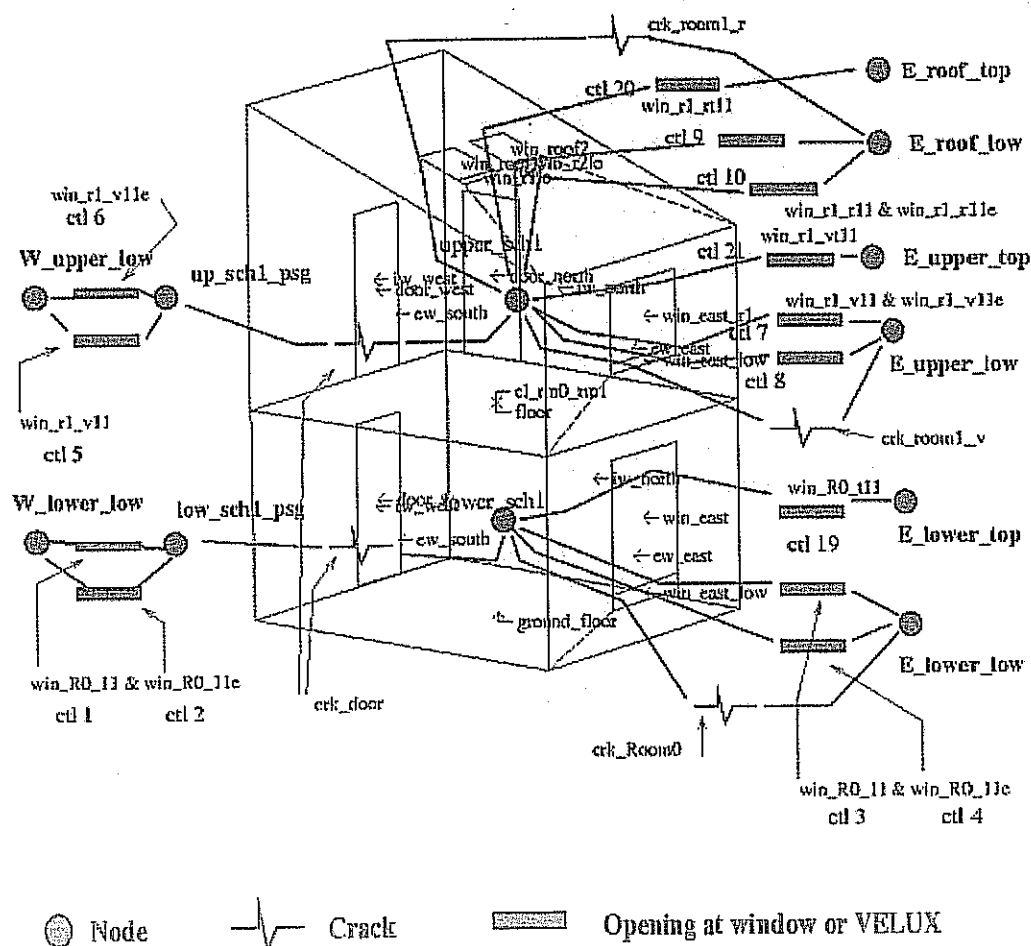


Figura 6. Esempio di schema di controllo delle aperture. Ciascun ambiente ha un sensore al centro della stanza che misura la temperatura, l'umidità relativa, la percezione del comfort, etc. Il sensore interno è collegato a due sensori posti all'esterno in modo da creare un network che consente di valutare l'andamento dell'aria e il controllo delle aperture in base anche alle differenze di temperature tra l'interno e l'esterno.


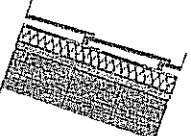
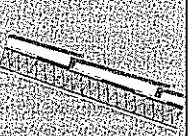
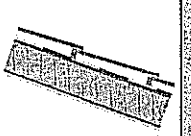
ORIENTATION		MODEL TYPOLOGY	c4 concrete roof with 4 cm of insulation		c8 concrete roof with 8 cm of insulation		w8 wooden roof with 8 cm of insulation		w16 wooden roof with 16 cm of insulation	
										
			$U (W/m^2K) = 0.55$		$U (W/m^2K) = 0.35$		$U (W/m^2K) = 0.41$		$U (W/m^2K) = 0.25$	
			Tmax (°C)		Tmax (°C)		Tmax (°C)		Tmax (°C)	
			Ventilation Strategy 1	Ventilation Strategy 2	Ventilation Strategy 1	Ventilation Strategy 2	Ventilation Strategy 1	Ventilation Strategy 2	Ventilation Strategy 1	Ventilation Strategy 2
NORTH	Upper		32.01	32.05	32.01	32.06	32.35	32.39	32.19	32.21
	Lower		32.55	32.64	32.51	32.61	32.57	32.67	32.54	32.65
SOUTH	Upper		33.47	33.56	33.41	33.53	33.97	34.05	33.68	33.78
	Lower		33.99	34.18	33.97	34.14	33.96	34.19	33.93	34.15
WEST	Upper		32.63	32.78	32.59	32.77	33.11	33.23	32.92	33.06
	Lower		33.67	33.93	33.64	33.90	33.67	33.94	33.65	33.93
EAST	Upper		32.98	33.11	32.94	33.08	33.41	33.55	33.18	33.32
	Lower		33.65	33.80	33.61	33.77	33.66	33.84	33.63	33.79

Tabella 3. Temperature massime raggiunte nel periodo estivo: le cucine poste a primo piano ottengono in generale un valore di temperatura massima quasi uguale a quella delle cucine poste ai piani inferiori; la strategia di ventilazione che adotta il controllo automatico delle aperture ottiene temperature più basse rispetto a quelle che si ottengono tramite una strategia di ventilazione che prevede la presenza degli occupanti nell'ambiente. Le cucine esposte a nord ottengono temperature massime di circa 1.5°C più basse rispetto a quelle esposte a sud. I modelli orientati ad ovest ottengono temperature più basse rispetto a quelli orientati ad est.

Studio della illuminazione naturale dei sottotetti nel periodo invernale

Obiettivo di questa seconda parte della ricerca è il confronto delle condizioni relative alla distribuzione di luce naturale all'interno dei sottotetti, uno con finestre sul tetto e la finestra verticale, l'altro con la sola finestra verticale. Entrambi i sottotetti hanno uguale superficie finestrata totale.

Il confronto è stato effettuato in diversi giorni dell'anno, a diverse ore del giorno, in diversi orientamenti. Lo studio è stato effettuato per la stagione invernale, dal momento che è uso

comune in questa fascia climatica utilizzare durante l'estate delle schermature per la luce e per la radiazione solare, per evitare quindi il surriscaldamento del locale.

Le simulazioni sono state effettuate dal Centro Interuniversitario ABITA⁽²⁾, sede di Firenze, con lo strumento di simulazione Radiance (Ward Larson & Shakespeare, 1998). Sono state effettuate un totale di 52 simulazioni, fornendo risultati in termini di distribuzione della luce naturale, livelli di illuminamento sul piano orizzontale, fattore di luce diurna. Le simulazioni sono state presentate sotto forma di isolux e di falsi colori.

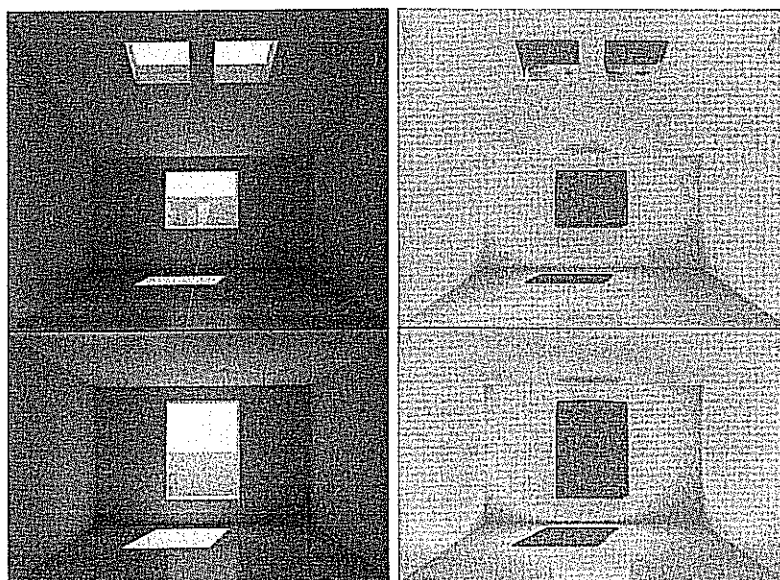


Figura 7. Vista prospettica frontale dalla parete di fronte la finestra verticale. A sinistra la simulazione della stanza e a destra la vista in falsi colori - 21 Marzo, ore 13:00, orientamento Sud, condizioni di cielo sereno. In alto i sottotetti, in basso la stanza a piano terra.

⁽²⁾ Le simulazioni in Radiance sono state condotte dall'Arch. David Matteoli

Finiture superficiali interne

Il modello geometrico è caratterizzato da finiture superficiali interne descritte nella tabella che segue.

Le caratteristiche del cielo

Il profilo climatico relativo alla posizione ge-

ografica di Roma, mostra che il 51% dell'anno si ha cielo sereno, mentre si ha un cielo coperto il 23% dell'anno e il rimanente è un cielo intermedio.

Nella tabella che segue, i dati provenienti dall'ENEA (Ente Nazionale Energie Alternative, Italy)

		R(r) (%)	R(g) (%)	R(b) (%)	R(tot) (%)	Specularity	Roughness
Walls	Light grey paint	58.3	57.3	50.7	57.0	0.00	0.00
Floor	Chestnut wood	52.5	34.4	19.0	37.9	0.03	0.03
Ceiling	Pure white paint	92.3	80.8	76.1	83.5	0.00	0.00
Door	Light grey paint	39.1	39.0	36.7	38.8	0.00	0.00
		T(r) (%)	T(g) (%)	T(b) (%)	T(tot) (%)		
Glazing	2 panes	78.0	85.0	80.0	78.0		

Valori utilizzati in radiance per definire le caratteristiche superficiali di pareti, pavimenti, soffitto, porte e vetri.

MONTH	CLEAR SKY (days)	OVERCAST SKY (days)	INTERMEDIATE SKY (days)
1	12	9	10
2	11	8	9
3	13	9	9
4	13	8	9
5	15	6	10
6	18	4	8
7	24	2	5
8	24	2	5
9	19	5	6
10	15	9	7
11	12	10	8
12	11	10	10
	187	82	96

Frequenza di cielo sereno, coperto e intermedio Frequency of clear, overcast and intermediate sky in Rome (ENEA)

Il fattore di luce diurna

Il fattore di luce diurna (Daylight Factor DF) è normalmente usato per valutare la disponibilità e la distribuzione di luce all'interno di un ambiente.

Le simulazioni in Radiance sono state effettuate per calcolare l'illuminamento orizzontale su un piano a 70 cm dal pavimento, in condizioni di cielo coperto.

I risultati mostrano che, utilizzando la stessa identica area vetrata totale in entrambi i locali, il sottotetto con le finestre sul tetto ottiene valori maggiori di fattore di luce diurna rispetto al locale con la sola finestra verticale.

Il fattore di luce diurna medio per il sottotetto è di 3.85% contro un valore medio di 2.60% nella stanza sottostante; significa che utilizzare la stessa superficie vetrata, ma diversamente distribuita consente un incremento della luce naturale del 48%.

La simulazione inoltre mostra che nella stanza di sotto (lower room) i valori di fattore di luce diurna variano rapidamente lasciando quasi al buio il fondo della stanza.

Nella stanza del sottotetto, la luce si distribuisce in maniera più uniforme grazie alle finestre sul tetto e alla finestra sulla parete verticale.

Conclusioni

Dallo studio effettuato emergono i seguenti principali risultati:

- in entrambe le strategie di ventilazione naturale adottate i sottotetti raggiungono un comfort interno più soddisfacente rispetto alle cucine del piano sottostante.
- La ventilazione notturna consente il raffrescamento dei locali abbassandone la temperatura interna nelle prime ore del mattino.
- L'uso di schermature solari è di vitale importanza in entrambi gli ambienti per evitare il surriscaldamento estivo.
- Il sottotetto in generale raggiunge temperature massime prossime a quelle del locale sottostante.
- Durante la stagione invernale, la distribuzione delle superficie finestrata in una finestra verticale e due sul tetto, consentono un incremento della

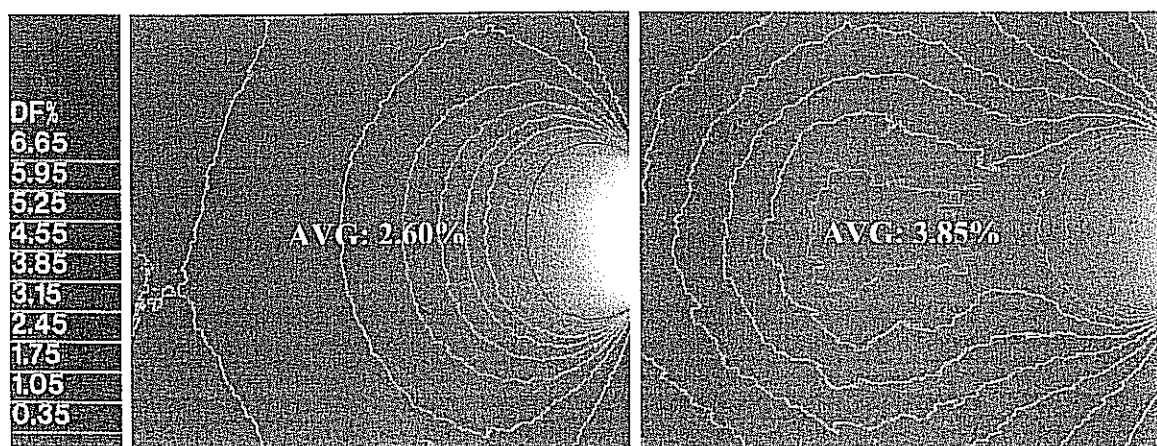


Figura 8. IsoDFcontour lines + valore medio. A sinistra la stanza senza le roof-windows; a destra la stanza sottotetto, con le roof-windows.

luce naturale all'interno del locale di circa il 48% rispetto allo stesso locale ma con unica superficie vetrata verticale.

Inoltre dallo studio emerge che:

- il sottotetto esposto a sud raggiunge temperature massime di circa $1,5^{\circ}\text{C}$ più alte rispetto ai locali esposti a nord.
- L'utilizzo di un tetto in latero cemento con 40mm di isolamento consente di ottenere un comfort interno molto si-

mile a quello che si ottiene nei sottotetti con copertura in legno e 80mm di isolamento. Una indagine nel periodo invernale si ritiene necessaria, con particolare attenzione all'effetto della massa termica.

L'utilizzo di finestre verticali combinate a finestre sul tetto consentono una buona ventilazione durante la stagione estiva.

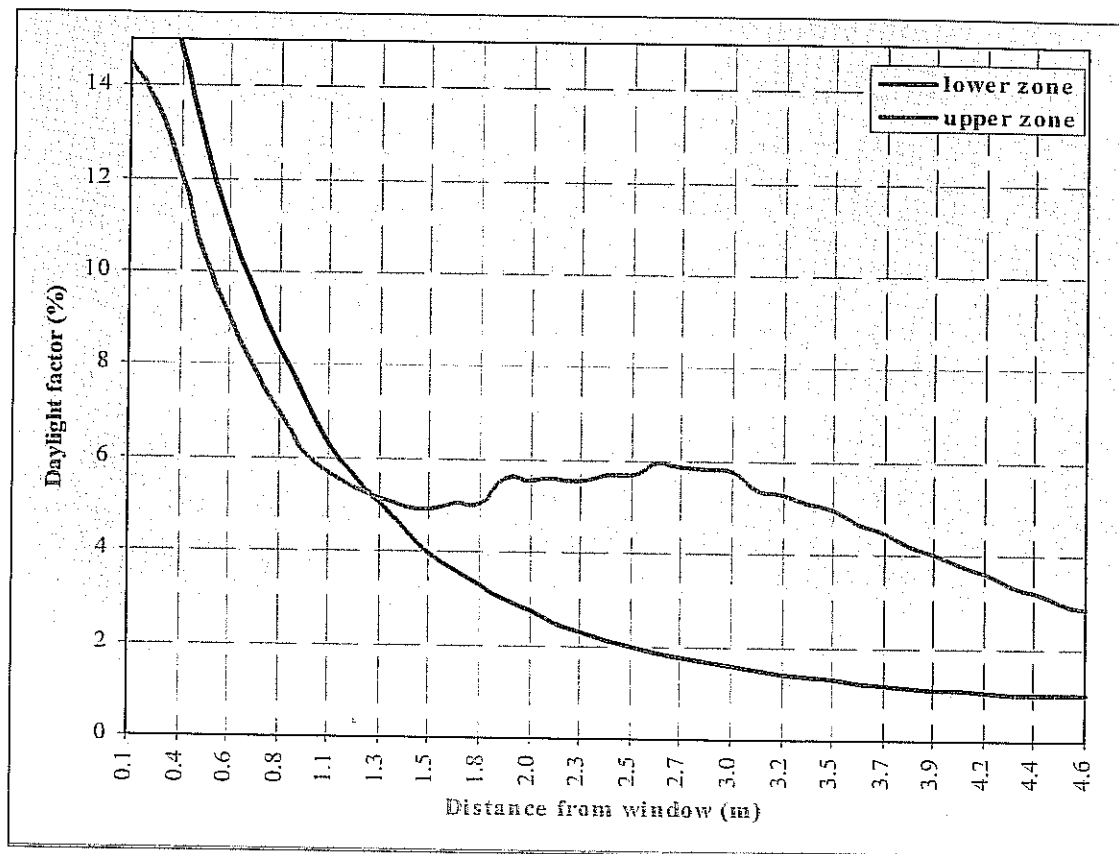


Figura 9. Fattore di luce diurnal su un piano a 70 cm dal pavimento, lungo l'asse perpendicolare e centrale alla finestra verticale, in condizioni di cielo coperto.